

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI  
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012328673    \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1999-134780/199912  
XRPX Acc No: N99-098341

**Diffraction optical element such as grating structure - has three  
diffraction gratings laminated together on base plate**

Patent Assignee: CANON KK (CANO )

Inventor: NAKAI T

Number of Countries: 027    Number of Patents: 003

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
EP 898182	A2	19990224	EP 98115260	A	19980813	199912 B
JP 11064616	A	19990305	JP 97239026	A	19970820	199920
<i>conv</i> <u>US 6122104</u>	A	20000919	US 98130171	A	19980806	200048

Priority Applications (No Type Date): JP 97239026 A 19970820

Cited Patents: No-SR.Pub

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	-----	----	----------	--------------

EP 898182	A2	E	17	G02B-005/18	
-----------	----	---	----	-------------	--

Designated States (Regional): AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT  
LI LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI

JP 11064616	A		9	G02B-005/18	
-------------	---	--	---	-------------	--

US 6122104	A			G02B-005/18	
------------	---	--	--	-------------	--

Abstract (Basic): EP 898182 A

The diffractive optical element (1) is formed by laminating at least three layers of diffraction gratings made of at least three kinds of materials which differ in dispersion. The diffraction grating part (3) is formed on the surface of a base plate (2), with the individual gratings being on top of each other.

USE - Concentrates light flux of useful wavelength at specific order.

ADVANTAGE - Has high diffraction efficiency over whole useful wavelength region with small amount of unnecessary diffraction light.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows plan view of element. (1) diffractive element, (2) Base plate, (3) Diffraction grating.

Dwg.1/19

Title Terms: DIFFRACTED; OPTICAL; ELEMENT; GRATING; STRUCTURE; THREE;  
DIFFRACTED; GRATING; LAMINATE; BASE; PLATE

Derwent Class: P81; S06

International Patent Class (Main): G02B-005/18

International Patent Class (Additional): G02B-005/32; G02B-013/18;  
G02B-027/44

File Segment: EPI; EngPI



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-64616

(43)公開日 平成11年(1999)3月5日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

FI

G 0 2 B 5/18

G 0 2 B 5/18

13/18

13/18

27/44

27/44

審査請求 未請求 請求項の数10 FD (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平9-239026

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(22)出願日 平成9年(1997)8月20日

(72)発明者 中井 武彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

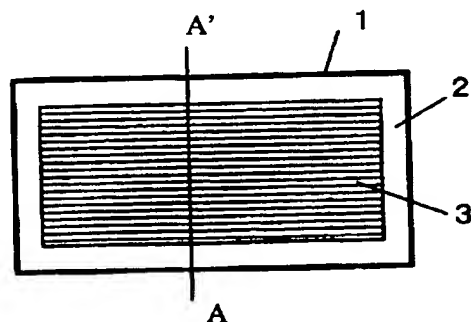
(74)代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54)【発明の名称】 回折光学素子及びそれを用いた光学系

(57)【要約】

【課題】 使用波長領域での光束が特定次数の回折光として集光する格子構造を有し、色収差の補正、色光特性に優れた製造が容易な回折光学素子及びそれを用いた光学系を得ること。

【解決手段】 少なくとも3種類の分散の異なる材質からなる回折格子を基板上に少なくとも3層に積層し、使用波長領域全域で特定次数(設計次数)の回折効率を高くするような回折光学素子に於いて、該回折光学素子の回折効率が最大となる波長(設計波長)が3以上あること。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも3種類の分散の異なる材質からなる回折格子を基板上に少なくとも3層に積層し、使用波長領域全域で特定次数（設計次数）の回折効率を高くするような回折光学素子に於いて、該回折光学素子の回折効率が最大となる波長（設計波長）が3以上あることを特徴とする回折光学素子。

【請求項2】 前記回折光学素子の基板側から、第1の回折格子、第2の回折格子、第Lの回折格子としたとき、第1の回折格子の格子厚を $d_1$ 、第2の回折格子の格子厚を $d_2$ 、第Lの回折格子の格子厚を $d_L$ とし、第1の回折格子の波長 $\lambda$ での屈折率を $n_1(\lambda)$ 、第2の回折格子の波長 $\lambda$ での屈折率を $n_2(\lambda)$ 、第Lの回折格子の波長 $\lambda$ での屈折率を $n_L(\lambda)$ 、 $\lambda_0$ を使用波長内の任意の波長、前記特定次数を $m$ とした場合  

$$0.9217 \leq \{ (n_1(\lambda_0) - 1) d_1 \pm (n_2(\lambda_0) - 1) d_2 \pm \dots \pm (n_L(\lambda_0) - 1) d_L \} / m \lambda_0 \leq 1.0783$$
  
 式を満足することを特徴とする請求項1の回折光学素子。

【請求項3】 前記回折光学素子の基板側から、第1の回折格子、第2の回折格子、第Lの回折格子としたとき、第1の回折格子の格子厚を $d_1$ 、第2の回折格子の格子厚を $d_2$ 、第Lの回折格子の格子厚を $d_L$ とし、第1の回折格子の波長 $\lambda$ での屈折率を $n_1(\lambda)$ 、第2の回折格子の波長 $\lambda$ での屈折率を $n_2(\lambda)$ 、第Lの回折格子の波長 $\lambda$ での屈折率を $n_L(\lambda)$ 、 $\lambda_0$ を使用波長内の任意の波長、前記特定次数を $m$ とした場合  

$$0.8755 \leq \{ (n_1(\lambda_0) - 1) d_1 \pm (n_2(\lambda_0) - 1) d_2 \pm \dots \pm (n_L(\lambda_0) - 1) d_L \} / m \lambda_0 \leq 1.1245$$
  
 式を満足することを特徴とする請求項1の回折光学素子。

【請求項4】 前記設計波長は使用波長域の中心波長より短波長側に少なくとも2つの設計波長を有することを特徴とする請求項1の回折光学素子。

【請求項5】 前記使用波長領域が、可視光領域であることを特徴とする請求項1の回折光学素子。

【請求項6】 前記少なくとも3種類の分散の異なる材質からなる回折格子は、1周期内の格子の厚みが分散の異なる材質間で単調増加と、単調減少の2種類の格子構造が少なくとも各1種類含まれることを特徴とする請求項1の回折光学素子。

【請求項7】 前記第1の回折格子と前記基板が同材質であることを特徴とする請求項1の回折光学素子。

【請求項8】 請求項1～7のいずれか1項記載の回折光学素子を用いたことを特徴とする回折光学系。

【請求項9】 前記光学系は、結像光学系であることを特徴とする請求項8の光学系。

【請求項10】 前記光学系は、観察光学系であること

を特徴とする請求項8の光学系。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は回折光学素子のうち、特に使用波長領域の光束が特定次数（設計次数）に集中するような格子構造を有した回折光学素子及びそれを用いた光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来の硝材の組み合わせにより色収差を減じる方法に対して、レンズ面やあるいは光学系の1部に回折作用を有する回折光学素子（以下回折格子とも言う）を設けることで、色収差を減じる方法がSPIE Vol.1354 International Lens Design Conference (1990)等の文献や特開平4-213421号公報、特開平6-324262号公報、そしてUSP第5044706等により開示されている。これは、光学系中の屈折面と回折面とは、ある基準波長の光線に対する色収差の出方が逆方向になるという物理現象を利用したものである。

【0003】 ここで、光線の屈折作用において比較すると、屈折面（レンズ面）では1本の光線は屈折後も1本の光線であるのに対し、回折面では1本の光線が回折されると、各次数に光が分かれた複数の光線となる。そこで、レンズ系として回折光学素子を用いる場合には、使用波長領域の光束が特定次数（以後設計次数と言う）に集中するように格子構造を決定する。特定の次数に光の強度が集中している場合では、それ以外の回折光の光線の強度は低いものとなり、強度が0の場合にはその回折光は存在しないものとなる。

【0004】  $m$ 次の回折光の回折効率を高めようとする場合、位相差を与えるための構造において $2\pi m$ の位相差を回折方向の各光路光線に与えられれば、各光線は干渉し、強められることになる。

【0005】 図12に示すような構造の回折格子3の格子厚が $d$ であり、その材質の屈折率が $n$ であるような透過型の回折光学素子1において、次数 $m$ の光線に $2\pi m$ の位相差を与えるためには

$$2\pi m = 2\pi d(n-1)/\lambda \quad (1)$$

となることが必要になる。式(1)の条件が各ピッチ間で成立している場合、その回折効率はもっとも高くなる。

【0006】 この回折作用を発現するための回折光学素子の具体的な構造は、キノフォームと呼ばれこの位相差 $2\pi$ を与える間が連続的になっているもの、連続的な位相差分布を階段状に近似したバイナリー形状に構成したもの、その微小な周期的構造を三角波形状に近似し構成したもの等が公知である。こうした構造は光学系中に平板の表面に形成されたり、レンズ表面に形成されたりすることでその回折効果を発生する。また、このような回折光学素子は、リソグラフィー等の半導体プロセスや切削及び切削により製作された型をもとに成形される複製

等により製造される。

【0007】さらに、このような回折光学素子は、硝子の分散により屈折面で発生する色収差に対してとくにその補正する効果がおおきいが、その周期的構造の周期を変化させることで非球面レンズ的な効果をも持たせることができ収差の低減に大きな効果がある。

【0008】公知例に示されているものは、回折の効果により諸収差とくに色収差が低減しており、回折光学素子を光学系に組み込んだ効果が収差図上等で確認することが出来る。しかしながら、その設計次数の回折光の回折効率が、高くなければ實際上その光線は存在しないものとなるため、設計次数の光線の回折効率が十分高いことが必要になる。また、設計次数以外の回折次数をもった光線が存在する場合は、設計次数の光線とは別な所に結像するため、この光線はフレアとなり、像のコントラストの低下を引き起こす。従って回折効果を利用した光学系においては、回折効率の分光分布及び設計次数以外の光線の振る舞いについても十分考慮する事が重要である。

【0009】図12に示すような回折光学素子を光学系中のある面に形成した場合の特定の回折次数に対する回折効率の分光特性を図13に示す。この図で、横軸は波長をあらわし、縦軸は回折効率を表している。この回折光学素子は、1次の回折次数（図中実線）において、使用波長領域でもっとも回折効率が高くなるように設計されている。即ち設計次数は1次となる。さらに、設計次数近傍の回折次数（1次の±1次の0次と2次光）の回折効率も併せ並記しておく。図に示されるように、設計次数では回折効率はある波長で最も高くなり（以下設計波長と言う）それ以外の波長では徐々に低くなる。この原因を説明する。（1）式では位相差が $2\pi$ となるための格子の厚みを示したが、設計波長でこの条件を満たすように格子の厚みを設定した場合、その他の波長ではその条件より若干はずれてしまうことになり、このために回折効率の低下が発生する。

【0010】この設計次数での回折効率の低下分は、他の次数の回折光となり、フレアとなる。また、回折格子を複数枚使用した場合には、設計波長以外の波長では透過率の低下にもつながる。

【0011】そこで、本発明者は、特願平8-307154号において、図18に示すような少なくとも2種類以上の分散の異なる材質からなる第1の回折格子3aと第2の回折格子3bを含む複数の回折格子を重ね合わせた格子構造を持つ回折光学格子を用いることで、図19に示すようにほぼ使用波長全域で、設計次数の回折効率が高く維持できる回折格子を提案した。

【0012】この他に2種類の異なる材質からなる回折格子を重ね合わせる構成の回折光学素子として、USP 5,017,000 等で提案されているが、これは多焦点レンズに関するものであり、回折効率を高めることについては

記載されていない。

【0013】この他、特開平9-127321号公報や特開平9-127322号公報では回折効率の波長依存性を低減させて色むらや不要次数光によるフレアの発生率を防止した回折光学素子を開示している。具体的には積層した複数の光学材料（2つまたは3つの光学材料）を有し、互いに異なる光学材料の境界面に1つまたは2つのレリーフパターンを形成してなる回折光学素子を開示している。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】先の特開平9-127321号公報や特開平9-127322号公報等で提案されている回折光学素子は図15に示すように位相振幅が1となる波長が2つであり、それに基づいて回折効率が最大となるように最適化した波長（設計波長）が2波長であった。図16に設計次数での回折効率を、図17に設計次数近傍での回折効率を示す。設計波長が2波長であるため、使用波長域400nm～700nmにおいてどちらかの波長端の回折効率が低下する傾向にある。図16では長波長側の回折効率が94%程度まで低下しており、それに反比例して図17の設計次数近傍の回折効率が長波長で2%程度までに増大している。

【0015】この為、特殊な使用条件下では、使用波長域400nm～700nmにおいて、不要次数光によるフレアの発生量を少なくするには必ずしも十分ではなかった。さらに高い回折効率を使用波長領域全域で有するように構成することが必要となっている。特殊な使用条件の一例として、この回折効果を利用した回折光学素子をカメラの撮影レンズ等に応用した場合を説明する。カメラの場合、評価面にはフィルムが使用され、撮影条件（被写体、露出条件）は様々な場合が発生する。この内、被写体の一部に高輝度な光源が存在する場合等は、高輝度な光源部はフィルムの適正露光より飽和させ、他の被写体部で適正露光に調整し撮影されるケースがある。この場合、光源部は適正露光の数倍になっているため、設計次数近傍の回折次数のわずかな回折光も数倍される。そのため光源部の回りに、後光がさしたようフレア光として見られることがある。

【0016】本発明は、基板上に複数の回折格子を適切に積層することによって、不要回折次数光が少なく使用波長全域にわたり高い回折効率を有する回折光学素子及びそれを用いた光学系の提供を目的としている。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明の回折光学素子は、

（1-1）少なくとも3種類の分散の異なる材質からなる回折格子を基板上に少なくとも3層に積層し、使用波長領域全域で特定次数（設計次数）の回折効率を高くするような回折光学素子に於いて、該回折光学素子の回折効率が最大となる波長（設計波長）が3以上あることを特徴としている。

【0018】特に

(1-1-1) 前記回折光学素子の基板側から、第1の回折格子、第2の回折格子、第Lの回折格子としたとき、第1の回折格子の格子厚をd1、第2の回折格子の格子厚をd2、第Lの回折格子の格子厚をdLとし、第1の回折格子の波長λでの屈折率をn1(λ)、第2の回折格子の波長λでの屈折率をn2(λ)、第Lの回折格子の波長λでの屈折率をnL(λ)、λ0を使用波長内の任意の波長、前記特定次数をmとした場合

$$0.9217 \leq \{ (n1(\lambda_0) - 1) d1 \pm (n2(\lambda_0) - 1) d2 \pm \dots \pm (nL(\lambda_0) - 1) dL \} / m \lambda_0 \leq 1.0783$$

式を満足すること。

【0019】(1-1-2) 前記回折光学素子の基板側から、第1の回折格子、第2の回折格子、第Lの回折格子としたとき、第1の回折格子の格子厚をd1、第2の回折格子の格子厚をd2、第Lの回折格子の格子厚をdLとし、第1の回折格子の波長λでの屈折率をn1(λ)、第2の回折格子の波長λでの屈折率をn2(λ)、第Lの回折格子の波長λでの屈折率をnL(λ)、λ0を使用波長内の任意の波長、前記特定次数をmとした場合

$$0.8755 \leq \{ (n1(\lambda_0) - 1) d1 \pm (n2(\lambda_0) - 1) d2 \pm \dots \pm (nL(\lambda_0) - 1) dL \} / m \lambda_0 \leq 1.1245$$

式を満足すること。

【0020】(1-1-3) 前記設計波長は使用波長域の中心波長より短波長側に少なくとも2つの設計波長を有すること。

【0021】(1-1-4) 前記使用波長領域が、可視光領域であること。

【0022】(1-1-5) 前記少なくとも3種類の分散の異なる材質からなる回折格子は、1周期内の格子の厚みが分散の異なる材質間で単調増加と、単調減少の2種類の格子構造が少なくとも各1種類は含まれる格子構造からなっていること。

【0023】(1-1-6) 前記第1の回折格子と前記

$$\eta = \text{sinc}^2 \{ d(\lambda) / m \lambda - 1 \} \\ = \text{sinc}^2 \{ (n(\lambda) - 1) d / m \lambda - 1 \} \quad (3)$$

で表される。ここでn(λ)は波長λでの材質の屈折率である。

【0030】2層以上の構造からなる回折光学素子でも、基本は同様で、全層を通して一つの回折格子として作用させるためには、各回折格子の格子厚から光学光路長差d(λ)を求め、それを全層にわたって加え合わせたものが波長の整数倍になるようにすれば良い。図は3

$$(n01 - 1) d1 \pm (n02 - 1) d2 \pm \dots \\ \pm (n0L - 1) dL = m \lambda_0 \quad (4)$$

で表現される。多層に積層された回折光学素子に於いても光学光路長差の観点からは、1層の場合と同様のこと

基板が同材質であること。

【0024】本発明の回折光学素子を用いた光学系は、(2-1)構成(1-1)の回折光学素子を一部に用いたことを特徴としている。特に回折光学素子を結像光学系や観察光学系に用いていることを特徴としている。

【0025】

【発明の実施の形態】図1は本発明の回折光学素子の実施形態1の正面図である。同図において回折光学素子1は基盤(基板)2の表面に回折格子部3が作成された構成となっている。

【0026】図2は図1の回折光学素子を図中A-A'断面で切断した断面形状の一部である。図2は回折格子の深さ方向にかなりデフォルメされた図となっている。本実施形態の回折光学素子1の断面形状は、基板2上に設けられた第1の回折格子3a、第1の回折格子3a上に作られた第2の回折格子3b、そして第2の回折格子3b上に作られた第3の回折格子3cとを順次積層した構造からなっている。

【0027】さらに、本実施形態における各回折格子の形状は格子厚が1周期内で図中左から右に単調減少する第1、第3の回折格子(図中3a、3c)と、1周期内で単調増加する第2回折格子(図中3b)をそれぞれ少なくとも一つ以上重ね合わせた構成になっている。

【0028】次に広波長域で設計次数の回折効率が高くなる第1、第2、第3の回折格子3a、3b、3cの材質の組み合わせと格子形状について記述する。

【0029】図12に示すような空気中で使用される1層の通常の透過型の回折格子3で、設計波長λ0で回折効率が最大となる条件は、光束が回折格子3に対して垂直入射した場合は、回折格子3の山と谷の光学光路長差d0が波長の整数倍になればよく

$$d0 = (n0 - 1) d = m \lambda_0 \quad (2)$$

となる。ここでn0は波長λ0での材質の屈折率、dは格子厚、(回折格子の最大厚と最小厚の差)mは回折次数である。通常の1層の回折効率ηは、波長λの光を光学光路長差d(λ)の回折格子に垂直入射した場合

層の回折格子形態をとっているが、これに限定するものではなく3層以上の積層構造を有する回折格子構造に適用できる。ここで格子厚は、1周期内の各回折格子の最大厚と最小厚の差とし、第L層めの材質の波長λ0での屈折率をn0Lとする。このように定義すると(2)式に対応する式は

が成り立ち、この場合の回折効率ηは、波長λの光を光学光路長差d(λ)の回折格子に垂直入射した場合

$$\begin{aligned}\eta &= \text{sinc}^2 \{ d(\lambda) / m\lambda - 1 \} \\ &= \text{sinc}^2 \{ \{ (n_1(\lambda) - 1) d_1 \pm (n_2(\lambda) - 1) d_2 \pm \dots \\ &\quad \pm (n_L(\lambda) - 1) d_L \} / m\lambda - 1 \} \quad (5)\end{aligned}$$

となる。ここで  $n_L(\lambda)$  は第  $L$  層 (第  $L$  の回折格子) の材質の波長  $\lambda$  での屈折率である。

【0031】ここで回折方向を図2中の0次回折光から左寄りに回折するのを正の回折次数とすると、(5)式での各層の加減の符号は、図中左から右に格子厚が減少する格子形状 (回折格子3a、3c) の場合が正となり、逆に左から右に格子厚が増加する格子形状 (回折格子3b) の場合が負となる。

【0032】本発明の特長は上記(4)式が成り立つ波長 (設計波長) が使用波長領域で少なくとも3波長存在することである。このような構成にすることで、従来の実施例に比べ、使用波長全域でさらに高い回折効率を有することが可能になる。

【0033】以下、本発明の実施例について実際の構成を基に説明を補足する。使用波長域は可視域で、この回折格子の設計次数を+1次 ( $m=1$ )、また設計波長が3波長存在する構成を例にとる。この場合、異なる分散特性を有する材料は、少なくとも3種類必要となる。説明を簡単にするため最小の構成で実現できる、3種類の異なる材料からなる3層の回折格子より成る回折光学素

$$\begin{aligned}& (1.50634 - 1) d_1 \\ & + (1.61362 - 1) d_2 \\ & + (1.63482 - 1) d_3 = 0.41 \quad (6)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}& (1.49773 - 1) d_1 \\ & + (1.59679 - 1) d_2 \\ & + (1.61319 - 1) d_3 = 0.48607 \quad (7)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}& (1.48917 - 1) d_1 \\ & + (1.57750 - 1) d_2 \\ & + (1.59183 - 1) d_3 = 0.65627 \quad (8)\end{aligned}$$

ここで式が3つに対し変数が3つなので全ての式を満足する材質の厚みは一意的に求められる。方程式を解くと格子厚  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  は  $d_1 = 27.50 \mu\text{m}$ 、 $d_2 = -36.22 \mu\text{m}$ 、 $d_3 = 13.73 \mu\text{m}$  となる。ここで格子厚  $d_2$  は負の値になっている。これは、格子厚の増減を他の2つの回折格子と逆にすることでこの構成は達成できる。波長410nm、F線、C線の回折効率は、 $d_0 = m\lambda$  より(5)式の( )内が0となるので  $\eta = 1.00$  となり最大値を示す。

【0037】次に他の可視光の回折効率を求める。格子厚が決定したので、(5)式を各波長について計算すればよい。図3に各波長毎の位相振幅  $d(\lambda) / m\lambda$  の値を、図4に各波長毎の設計次数での回折効率の値を、図5に各波長毎の設計次数近傍の回折次数 (0次、2次) での回折効率の値を示す。

【0038】図3から可視域で位相振幅が1となる設計波長が3つ存在することがわかる。また、設計波長以外

$$0.9217 \leq d(\lambda) / m\lambda \leq 1.0783 \quad (9)$$

子について説明する。

【0034】実施例として、使用波長域を可視域とし、波長410nm、F線、C線の3波長が設計波長となる回折光学素子の構成を考える。第1の回折格子3aとしてプラスチック樹脂であるPMMA ( $n_d = 1.49171$ 、 $\nu_d = 57.4$ )、第2の回折格子3bとしてプラスチック樹脂PC ( $n_d = 1.58306$ 、 $\nu_d = 30.2$ )、第3の回折格子3cとして (株) アデル社製の紫外線硬化樹脂HV16 ( $n_d = 1.5980$ 、 $\nu_d = 28.0$ ) を使用した。

【0035】従って第1の回折格子の屈折率  $n_1$  は、波長410nm、F線、C線においてそれぞれ1.50634、1.49773、1.48917である。第2の回折格子の屈折率  $n_2$  はそれぞれ1.61362、1.59679、1.57750となる。第3の回折格子の屈折率  $n_3$  はそれぞれ1.63482、1.61319、1.59183となる。従って(4)式は上記3波長についてそれぞれ以下の式が成立する。

【0036】

の位相振幅の値も、使用波長域全域で5%以下となっている。位相振幅が5%以下なので、設計次数の回折効率は使用波長全域で99%以上の良好な回折効率が得られていることがわかる。また設計次数近傍 (0次、2次) の回折効率も0.3%以下と良好に抑制されていることが見て取れる。

【0039】このように適当な材質を選択して、使用波長域全域で高い回折効率を有した回折光学素子を作成している。

【0040】上記説明では、3種類の材質で本発明の目的とする回折光学素子を満たす構成が存在することを示した。しかし、実際は上記説明と逆の手順で材質の組み合わせと各格子厚を探索することになる。以下1例を示す。まず必要な回折効率を決定する。例えば回折効率が98%以上必要な場合は、

$$\eta = \text{sinc}^2 \{ d(\lambda) / m\lambda - 1 \} \geq 0.98$$

となり、これより  $d_0 / m\lambda$  が

であれば、全域で回折効率が98%以上得られることになる。(9)式に、前記光学光路長差

$$d(\lambda) = (n_1(\lambda) - 1) d_1 \pm (n_2(\lambda) - 1)$$

$$0.9217 \leq \{ (n_1(\lambda) - 1) d_1$$

$$\pm (n_2(\lambda) - 1) d_2 \pm \dots$$

$$\pm (n_L(\lambda) - 1) d_L \} / m\lambda \leq 1.0783 \quad (10)$$

となる。そこで最終的には(10)式が任意の波長で成立するような材質の屈折率と各格子厚を探索し、格子形状と使用する材質が決定される。補足として回折効率が95%以上でよいような場合は、(10)式は

$$0.8755 \leq \{ (n_1(\lambda) - 1) d_1$$

$$\pm (n_2(\lambda) - 1) d_2 \pm \dots$$

$$\pm (n_L(\lambda) - 1) d_L \} / m\lambda \leq 1.1245 \quad (11)$$

となり、組み合わされる材質の種類が増え、安価な材質や、耐久性の良い材質など材質の選択の範囲が増すことになる。

【0041】上記において、設計波長が3波長で、回折格子が3層構造からなる材料と格子形状について説明した。この場合、図3の位相振幅のグラフからわかるように短波長での位相振幅の変化率が大きい。そのため、使用波長域の中心波長域より短波長側に設計波長を少なくとも2つ有するようにすれば、使用波長全域で位相振幅の値を小さくできると同時に、高い回折効率を得ることが可能となり好ましい。

【0042】また、各設計波長間の波長差は50nm以上にすることで、位相振幅の変化率を小さくすることができ、製造誤差等で位相振幅が誤差を持ったときでも、最終的な回折効率の変化は小さくすることができるので好ましい。

【0043】以上述べた説明は、1周期の回折格子形状に限定して説明を行った。しかし、回折格子の回折効率については、回折格子のピッチは影響しないことが、公知である。つまり本実施例は図1に示した1次元の回折格子の他に、図6に示すような回折光学レンズなどあらゆる格子ピッチ形状を有する回折光学素子に応用することができる。

【0044】また格子断面の形状は図1に示すようなキノフォーム形状の格子や、図7に示すような階段形状のもの等が考えられるが特に限定したものではなく、公知の格子形状を利用できる。

【0045】但し図7に示す階段形状の場合は、実際の格子の厚み $dL'$ は前述のキノフォーム時の格子厚 $dL$ に対して、

$$dL' = dL * (N - 1) / N$$

なる関係を有している。ここで $N$ は階段格子の格子段数である。階段形状の回折格子の場合は、光学光路長差を決定する場合の格子厚 $d$ と実際の格子厚 $d'$ が異なる。

【0046】また、実施例の説明では平板上に回折格子部を設けた回折光学素子であるが、レンズ曲面表面に設けても同様の効果が得られる。

【0047】また、本実施例では第1の回折格子を基板上に製作しているが、モールド成形などで、基板と第1

)  $d_2 \pm \dots \pm (n_L(\lambda) - 1) d_L$ を代入すると、

の回折格子を同じ材質の一体成形で製作しても良い。

【0048】また、本実施例では、回折次数が1次光の場合を示したが、1次光に限定するものではなく、2次光などの異なった回折次数光であっても、合成光学光路長差を所望の回折次数で所望の設計波長となるように設定すれば同様の効果が得られる。

【0049】次に本発明の回折光学素子の実施形態2について説明する。

【0050】前記実施形態1では、設計波長が3波長存在する回折光学素子を、最低限の3層構造の回折格子で実現した。そのため、回折格子の最終端部にも格子面が形成されていた。本実施形態では図8に示すように、さらに回折格子3dを1層追加することで、最終端部を平面にする構成とした。この場合は、最終端部に回折面がないため、格子溝へのごみの付着の問題や、反射防止膜の付加など素子としての取扱いが容易となる。

【0051】次に本発明の回折光学素子の実施形態3について説明する。

【0052】前記実施形態1、2において、第2、第3の回折格子3b、3cの格子厚の一番薄い部分が厚みが0となっていた。この構成だと第2、第3の回折格子は格子ピッチごとに分離された構成となっており、型による製造では、型からうまく剥離し転写しにくいという問題がある。

【0053】そこで、本実施形態では図9に示すように回折格子部3の全域に第2の回折格子3bと同じ材質部を一定の厚み(図中 $d_{off}$ )付加した構造にしている。これによって、第2の回折格子3bの各格子部は結合され、型による成形では型から剥離しやすくなるようにしている。同様に第3、第4の回折格子3c、3dに適用すれば、全ての格子部は成形が容易になる。

【0054】次に本発明の回折光学素子を用いた光学系の実施形態4を図10に示す。

【0055】図9はカメラ等の撮影光学系の断面を示したものであり、同図中、5は撮影レンズで、内部に絞り6と本発明に係る回折光学素子1を設けている。7は結像面であるフィルム(感光面)である。

【0056】この場合は撮影レンズとして屈折レンズ部での透過率と本発明の回折格子部の回折効率(透過率)



の合計で所定の透過率が得られるように設定される。従来例では、図13に示すように回折格子の回折効率(透過率)が波長によりかなり変化していたため、撮影レンズとして必要とされる分光特性を得るため、屈折レンズ部に特殊なダイクロ膜などで回折光学素子の透過特性を補正するようなフィルタが必要であった。また分光特性を所望の特性にするため、設計波長近傍の回折光量を落として、合成透過率の分光特性の色みを補正せざるをえず、かなり光量ロスを生じていた。

【0057】しかし、本発明では回折光学素子の回折効率は使用波長領域で高く維持されているので、特殊な膜も必要なく通常の屈折レンズと同等に取り扱える。さらに、設計次数近傍の回折効率も良好に抑制されているので、前述の特殊な撮影条件下でも、フレア光の発生は大幅に低減されている。

【0058】図10では絞り近傍の平板ガラス面に回折光学素子を設けたが、これに限定するものではなく、レンズ曲面表面に設けても良いし、撮影レンズ内に複数、回折光学素子を使用しても良い。

【0059】また、本実施形態では、カメラの撮影レンズの場合を示したが、これに限定するものではなく、ビデオカメラの撮影レンズ、事務機のイメージスキャナーや、デジタル複写機のリーダーレンズなどに使用しても同様の効果が得られる。

【0060】次に本発明の回折光学素子を用いた光学系の実施形態5を図11に示す。

【0061】図11は、双眼鏡等の観察光学系の断面を示したものであり、同図中、8は対物レンズ、9は像を成立させるための像反転プリズム、10は接眼レンズ、11は評価面(瞳面)である。図中1は本発明に係る回折光学素子である。回折光学素子1は対物レンズ8の結像面7での色収差等を補正する目的で形成されている。

【0062】本実施形態では、対物レンズ8側に回折光学素子1を形成した場合を示したが、これに限定するものではなく、プリズム表面や接眼レンズ内の位置であっても同様の効果が得られる。しかしながら、結像面11より物体側に設けることで対物レンズ8のみでの色収差低減効果があるため、肉眼の観察系の場合すくなくとも対物レンズがわに設けることが望ましい。

【0063】また本実施形態では、双眼鏡の場合を示したが、これに限定するものではなく地上望遠鏡や天体観測用望遠鏡などであってもよく、またレンズシャッターカメラやビデオカメラなどの光学式のファインダーであっても同様の効果が得られる。

【0064】

【発明の効果】本発明によれば以上のように、基板上に複数の回折格子を適切に積層することによって、色むらが少なく使用波長全域にわたり高い回折効率を有した回折光学素子およびそれを用いた光学系を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の回折光学素子の実施形態1の要部断面図

【図2】 図1のA-A' 断面図

【図3】 本発明の回折光学素子の実施形態1に係る位相振幅の説明図

【図4】 本発明の回折光学素子の実施形態1に係る設計次数の回折効率の説明図

【図5】 本発明の回折光学素子の実施形態1に係る設計次数近傍の回折効説明図

【図6】 本発明の回折光学素子の実施形態1に係る回折光学レンズの説明図

【図7】 本発明の回折光学素子の実施形態1に係るバイナリー格子形状の説明図

【図8】 本発明の回折光学素子の実施形態2の要部断面図

【図9】 本発明の回折光学素子の実施形態3の要部断面図

【図10】 本発明の回折光学素子を用いた光学系の実施形態4の要部概略図

【図11】 本発明の回折光学素子を用いた光学系の実施形態5の要部概略図

【図12】 従来の回折光学素子の要部断面図

【図13】 従来の回折光学素子の回折効率の説明図

【図14】 他の従来例の回折光学素子の要部断面図

【図15】 他の従来例の回折光学素子に係る位相振幅の説明図

【図16】 他の従来例の回折光学素子に係る設計次数の回折効率の説明図

【図17】 他の従来例の回折光学素子に係る設計次数近傍の回折効率の説明図

【図18】 本出願人が先に特願平8-307154号で提案した回折光学素子の要部断面図

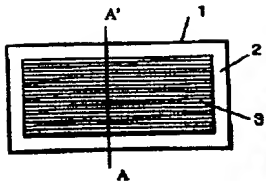
【図19】 本出願人が先に特願平8-307154号で提案した回折光学素子の回折効率の説明図

【符号の説明】

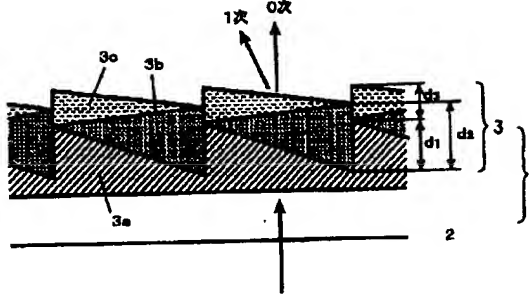
- 1 回折光学素子
- 2 基板
- 3 回折格子部
- 3a 第1の回折格子
- 3b 第2の回折格子
- 3c 第3の回折格子
- 3d 第4の回折格子
- 4 等膜厚部
- 5 屈折レンズ
- 6 絞り
- 7 結像面
- 8 対物レンズ
- 9 プリズム
- 10 接眼レンズ

## 11 評価面(瞳面)

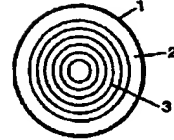
【図1】



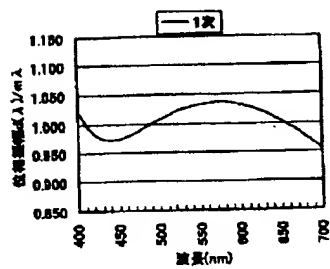
【図2】



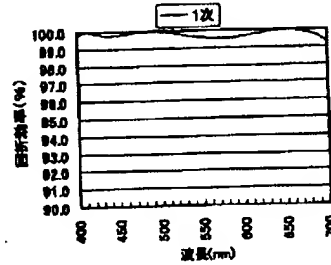
【図6】



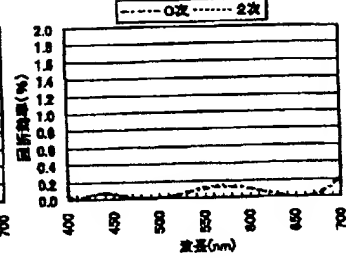
【図3】



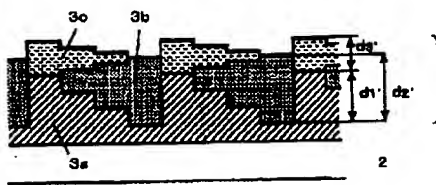
【図4】



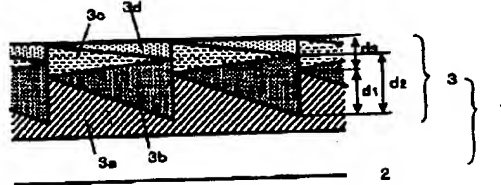
【図5】



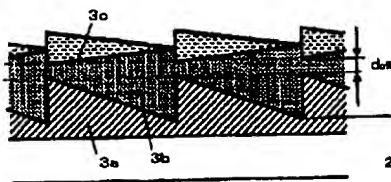
【図7】



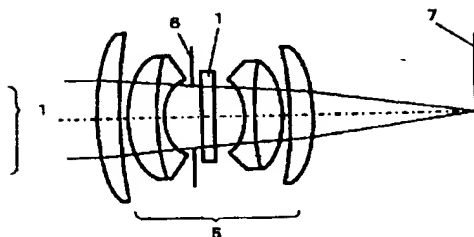
【図8】



【図9】



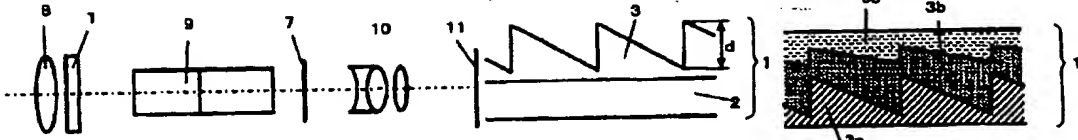
【図10】



【図11】

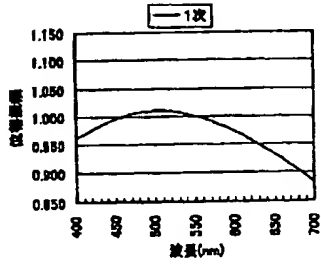
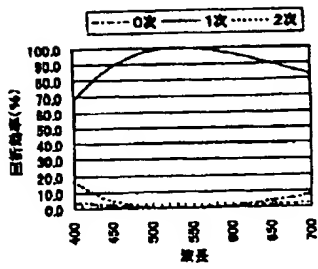
【図12】

【図14】



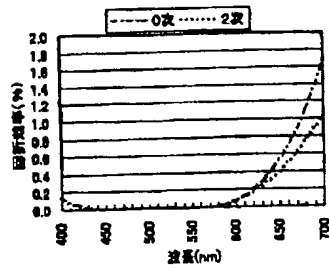
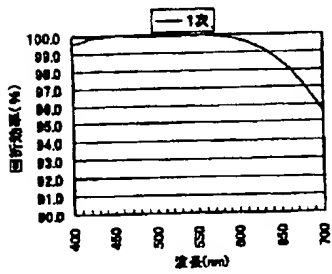
【図13】

【図15】



【図16】

【図17】



【図18】

【図19】

